

VŠB-Technická Univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

Snímače napětí a proudu – laboratorní úloha

Voltage and Current Sensors – Laboratory Stand  
Realization

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Hlisenkovský**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika**  
Téma: **Snímače napětí a proudu - laboratorní úloha**  
**Voltage and Current Sensors - Laboratory Stand Realization**

Zásady pro vypracování:

1. Specifikujte principy a způsoby využití snímačů napětí a proudu v oblasti průmyslové elektroniky.
2. Navrhněte a realizujte výukový laboratorní model se snímači napětí a proudu dle specifikace vedoucího bakalářské práce. Model bude využíván při laboratorní výuce analogových elektronických obvodů.
3. Proveďte ověření funkčnosti realizovaného modelu a zpracujte průvodní dokumentaci k vytypované laboratorní úloze.

Seznam doporučené odborné literatury:


Podle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Paláček, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem práce je zhodnotit současné metody využívané při snímání napětí a proudu v průmyslové elektronice a vytvoření výukového laboratorního modelu se snímačem napětí a proudu, který bude využíván při výuce. Ve stručnosti je nastíněna historie problematiky, dále se práce zabývá současnými metodami snímání elektrických proudů a napětí. V závěru se práce soustředí na návrh a realizaci výukového laboratorního modelu se snímači napětí a proudu.

*Klíčová slova:*

*snímač napětí, snímač proudu, průmyslová elektronika, laboratorní úloha*

## **ABSTRACT**

The ambition of this work is review of actual methods exploited by scanning voltage and current in industrial electronics and creating educational model of laboratory with voltage and current sensor, that will be used to at education. In briefness is sketching history of problems, further work is dealing with actual methods scanning electrical current and voltage. In the end work is orientated on scheme and realization educational model of laboratory with scanner voltage and current.

*Keywords:*

*voltage sensor, current sensor, industrial electronics, laboratory exercise*

## Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Petru Šimoníkovi Ph.D. , za odborné a ochotné vedení při tvorbě mé práce. Rovněž bych rád poděkoval své rodině a přátelům.

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Nošovicích dne .....

.....

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>6</b>
<b>HISTORIE MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU .....</b>	<b>7</b>
1.1 První elektrostatické měřicí přístroje .....	7
1.1.1 Versorium .....	7
1.1.2 Elektroskop .....	7
1.1.3 Elektrostatický voltmetr.....	8
1.2 První elektromagnetické měřicí přístroje .....	9
1.2.1 Ampérmetr .....	9
<b>2 SOUČASNÉ METODY SNÍMÁNÍ NAPĚTÍ A PROUDU .....</b>	<b>11</b>
2.1 Snímače proudu.....	11
2.1.1 Snímače proudu s optoizolátory (optočleny) .....	11
2.1.2 Snímače proudu s přenosem impulzního signálu .....	12
2.1.3 Snímače proudu s transformátory .....	13
2.1.4 Hallův jev .....	15
2.1.5 Snímače proudu s Hallovou sondou .....	17
2.2 Snímače napětí .....	19
2.2.1 Snímače napětí s odporovým děličem .....	19
2.2.2 Snímače napětí s měřícím transformátorem napětí.....	19
2.2.3 Kapacitní snímače napětí .....	20
2.2.1 Snímače napětí s modulací a demodulací .....	21
2.2.1 Snímače napětí s Hallovou sondou .....	21
<b>3 REALIZACE LABORATORNÍ ÚLOHY SE SNÍMAČI NAPĚTÍ A PROUDU</b>	<b>22</b>
3.1 Realizace snímače proudu.....	22
3.2 Realizace snímače napětí .....	24
3.2.1 Měření na snímači napětí .....	26
3.2.2 Měření na snímači proudu .....	28
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>29</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>30</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>33</b>

# ÚVOD

V první, teoretické části mé práce, se zabývám historií problematiky měření napětí a proudů. Stručně jsem nastínil vývoj tohoto odvětví fyziky a zmínil se o nejvýznamnějších průkopnících tohoto oboru. Ve druhé části se zabývám principy a způsoby měření napětí a proudů v současné průmyslové elektronice. V závěrečné části se pak věnuji návrhu a realizaci výukového laboratorního modelu se snímači napětí a proudů, který bude využíván při laboratorní výuce analogových elektronických obvodů.

# HISTORIE MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU

V průběhu dějin elektroniky vznikla potřeba kvantitativního vyhodnocování experimentů, bylo tudíž nutné vyvinout přístroje schopné měřit elektrické veličiny. První pozorované jevy byly elektrostatického charakteru, tudíž i přístroje sloužící k jejich měření pracovaly na elektrostatickém principu. S objevem vlastností magnetických účinků elektrického proudu a silovému působení na proudovodič v magnetickém poli vznikala další zařízení pracující na těchto principech.[1]

## 1.1 První elektrostatické měřicí přístroje

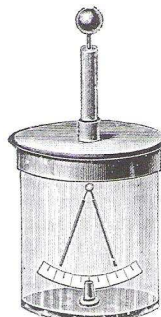
### 1.1.1 Versorium

O jednu z prvních snah systematicky a vědecky popsat projevy elektřiny a magnetismu, se zasloužil anglický lékař William Gilbert (1544 - 1603), který, ač postupoval čistě experimentálně, objevil základní zákonitosti těchto jevů. Za všechny uvedu příklady výsledků pokusů, jimiž podal důkazy o existenci magnetické indukce (schopnost permanentního magnetu zmagnetovat železná tělesa), magnetického stínění, zániku permanentního magnetismu přivedením tělesa do červeného žáru, elektrostatických jevů, spojených se třením těles, apod. Elektřinu považoval za nezvážitelnou kapalinu „*fluidum electricum*“ a elektrický náboj jako množství této kapaliny. Pro určování elektrického fluida pak sestrojil první měřicí přístroj – tzv. *elektrické versorium*, zařízení podobné kompasu, předchůdce pozdějšího elektroskopu. [2]

### 1.1.2 Elektroskop

Zdokonalení tohoto zařízení je spojováno s postavou francouzského důstojníka a později ředitele botanické zahrady v Paříži Charlesem Dufayem (1698 - 1739). Princip elektroskopu spočívá v odpuzování dvou shodně polarizovaných nábojů. Dufayovo zařízení obsahovalo dva tenké proužky zlata, ke kterým byl přiváděn elektrický náboj. Úhel mezi proužky byl tím větší, čím větší byl přiváděný potenciál. Pro ochranu před převážně povětrnostními vlivy okolí byly proužky umístěny ve skleněné baňce.[3]

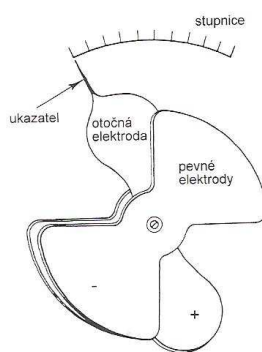
V průběhu vývoje tohoto zařízení se zlato místy nahrazovalo hliníkem, odstínění od okolních elektromagnetických rušivých polí se provádělo umístěním baňky do kovového stínícího pouzdra. [4]



*Obr. 1. Elektroskop [5]*

### **1.1.3 Elektrostatický voltmetr**

Vynález tohoto zařízení je připisován Williamu Thomsonovi (později lord Kelvin) (1824-1907). Voltmetr se skládal ze dvou pevných vertikálně umístěných čtvrtkruhových elektrod, mezi které se zasouvala otočně uložená elektroda z tenké hliníkové folie, vyvážená tak, aby v klidové poloze byl ukazatel na nule. Rozsah tohoto přístroje byl 10kV. Vylepšením bylo, když lord Kelvin na společnou otočnou osu umístil více elektrod, což mělo za následek značné zvýšení citlivosti zařízení. Pro odstínění od okolních vlivů bylo celé zařízení opět umístěno do kovového pouzdra. [6]



*Obr. 2. Elektrostatický voltmetr Lorda Kelvina [7]*



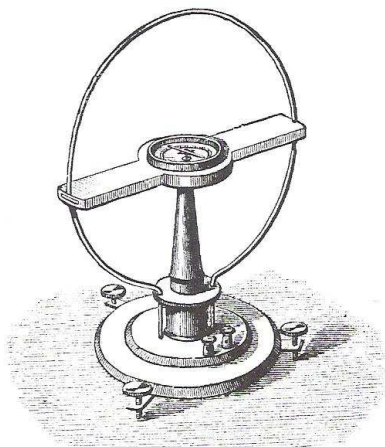
## 1.2 První elektromagnetické měřicí přístroje

Až do roku 1820 byly projevy elektřiny a magnetismu považovány za na sobě zcela nezávislé. Teprve ve výše zmíněném roce podal přesvědčivý důkaz o tom, že elektrický proud je vždy doprovázen magnetismem, dánský pedagog a popularizátor fyziky Hans Christian Oersted (1777-1851). Hledání souvislosti mezi elektřinou a magnetismem se věnoval sedm let, avšak jeho pokusy s magnetkou byly vesměs neúspěšné. Při jedné ze svých přednášek, na které demonstroval studentům své pokusy, ho jakýsi student upozornil na nepatrnou výchylku magnetky, která byla umístěna v těsné blízkosti vodiče, jímž protékal proud. Oersted měl ale o fyzikální podstatě svého objevu jen mlhavé představy, teprve André Maria Ampère zavedl jasný pojem elektrického proudu, jehož směr je dán pohybem kladné elektřiny. Nutno ale dodat, že Oerstedův objev indukce magnetického pole kolem vodiče, kterým protéká proud, vzbudil mimořádný ohlas, inspiroval jím mnohé nové experimenty a přispěl k učinění značného množství objevů. Všechny velké objevy projevů elektromagnetismu, které následovaly, byly založeny právě na Oerstedově poznatku. [8]

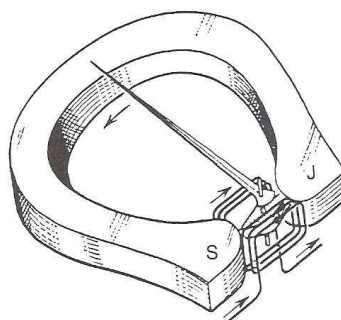
### 1.2.1 Ampérmetr

Jedním z prvních provedení ampérmetru byla tangentová buzola. Skládala se z kruhového závitu, v jehož středu se nacházela magnetka se stupnicí. Při samotném měření bylo nutné natočit rovinu závitu tak, aby ležela v magnetickém poledníku, tedy aby magnetka ležela v rovině závitu. [9] Pro dosažení zvýšení citlivosti byla konstrukčně upravena tak, že magnetka byla velmi těsně ovinuta velkým počtem závitů. Nevýhodou tohoto provedení je velká citlivost na působení vnějších magnetických polí.

Vylepšení zařízení je znázorněno na obr. 4. Pracuje opět na uvedeném principu, ale geomagnetické pole je nahrazeno permanentním magnetem, který zároveň stíní prostor, ve kterém se magnetka pohybuje.



*Obr. 3. Tangentová buzola [10]*



*Obr. 4. Přenosný ampérmetr s permanentním magnetem [11]*

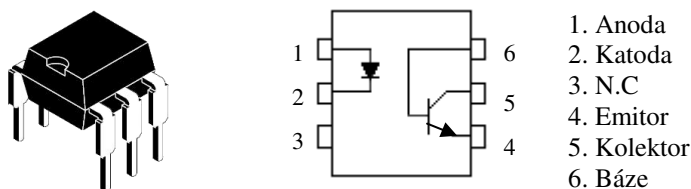
## 2 SOUČASNÉ METODY SNÍMÁNÍ NAPĚTÍ A PROUDU

S rozvojem různých průmyslových odvětví vznikla nutnost levného a přesného vyhodnocování fyzikálních jevů. K tomu to účelu byla vyvinuta řada specializovaných senzorů, které snímají fyzikální, chemické nebo biologické veličiny a transformují je na výstupní veličinu, nejčastěji analogový nebo číslicový elektrický signál. [12] V této části své práce se však omezím pouze na metody a technologie spojené se snímáním elektrického napětí a proudu.

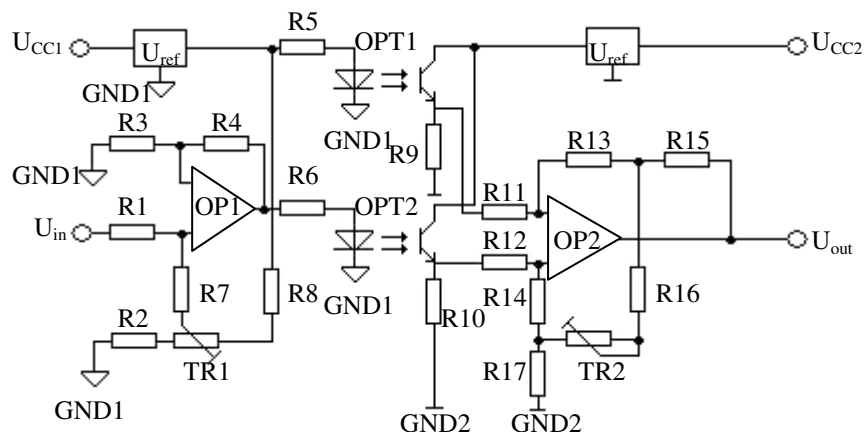
### 2.1 Snímače proudu

#### 2.1.1 Snímače proudu s optoizolátory (optočleny)

Jednou z metod, jak galvanicky oddělit měřený a měřící obvod a zajistit tak bezpečnost obsluhy a separaci obou okruhů je zapojení s použitím optoizolátorů. Ty se v dnešní době vyrábějí nejčastěji jako integrované obvody obsahující na jednom čipu jak vysílací část (LED diodu), tak přijímací část (fototranzistor, fototyristor, hradlo apod.). Měřenou veličinu lze optočlen přenášet dvěma způsoby a to buď jako analogovou hodnotu nebo jako veličinu zakódovanou do frekvence nebo šířky pulzů. Přenos analogové hodnoty přes optočlen však obnáší několik problémů. Prvním problémem je nelinearita přenosové funkce elektrického vazebního členu a druhým problémem je jeho značná teplotní závislost. [13] Oba tyto jevy je nutno při realizaci kompenzovat vhodným obvodovým zapojením.

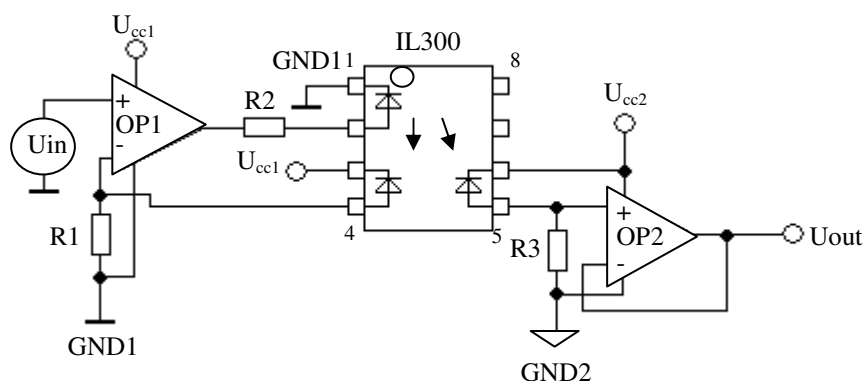


Obr. 5. Příklad optočlenu- 4N35 z produkce firmy Toshiba [14]



Obr. 6. Snímač proudu s optočleny a teplotní kompenzací

Další z možností realizace snímače proudu s použitím optočlenu, je použití integrovaného obvodu IL300. Zapojení izolačních zesilovačů s lineárním optočlenem IL300 se liší především režimem, v nichž pracují interní PIN fotodiody. Nabízejí se dvě možnosti a to buď hradlový (fotovoltaický) režim nebo režim odporový (fotovodivostní), kdy závěrně polarizovaná dioda mění svůj odpor v závislosti na intenzitě ozáření. Obvody IL300 jsou vhodné pro přenos stejnosměrných tak i střídavých signálů se šířkou pásma 200kHz při linearitě přenosu až 0,01%. Na obr. 7. je znázorněno zapojení unipolárního fotovoltického izolačního zesilovače, který zesiluje signály kladných polarit. [15]

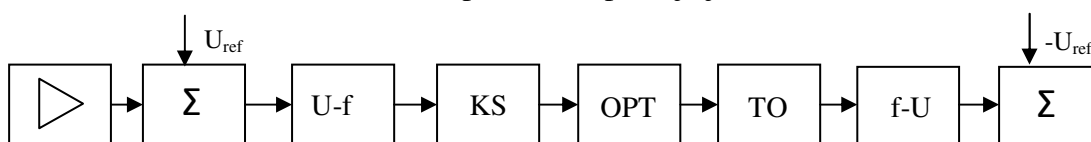


Obr. 7. Snímač proudu s unipolárním izolačním zesilovačem a optočlenem IL300

## 2.1.2 Snímače proudu s přenosem impulzního signálu

Jak již bylo zmíněno výše, přenos signálu pomocí optočlenu je snazší realizovat modulací vstupního signálu a to ať již frekvenčně nebo délkou impulsů. Na obrázku 8. je

znázorněno blokové schéma snímače proudu s přenosem impulzního signálu. Vstupní signál je v nejprve zesílen a následně přiveden na vstup sumátoru, kde se sčítá s referenčním signálem, kterým se nastavuje klidová pracovní frekvence převodníku U-f. Signál je následně opět zesílen [KS] a to na hodnotu nutnou k vybuzení optočlenu [OPT]. Takto galvanicky oddělený signál je upraven tvarovacím obvodem [TO] a převodníkem f-U je získán zpětně měřený analogový signál. Od tohoto signálu je potřeba následně odečíst referenční napětí, aby došlo k oddělení stejnosměrného klidového pracovního bodu. Oba převodníky U-f i f-U musí mít stejné převodní charakteristiky, proto jsou oba spojeny s obvodem fázového závěsu. V prvním obvodu je využito napětím řízeného oscilátoru (U-f, VCO), ve druhém pak obvod pracuje jako frekvenční demodulátor. [16]

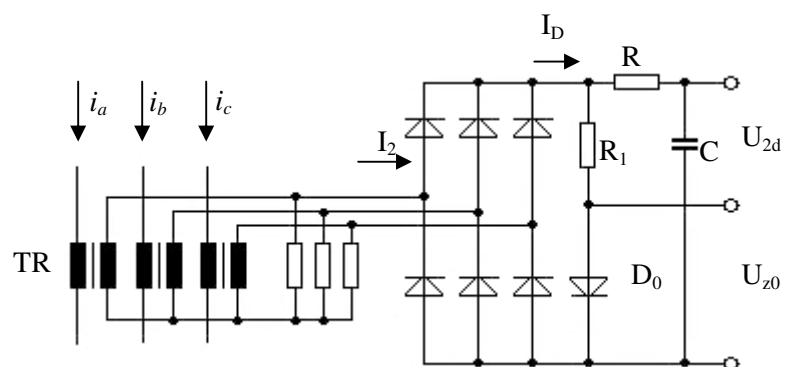


*Obr. 8. Blokové schéma snímače proudu s přenosem impulzního signálu*

### 2.1.3 Snímače proudu s transformátory

Pro měření střídavých proudů v rozsahu 20-50Hz se zejména v energetice stále běžně používají měřicí transformátory proudu s magnetickým jádrem (dále jen *MTP*). Měřicí transformátory patří zřejmě k nejrozšířenějším převodníkům pro měření velkých střídavých proudů. Výhodou jejich použití je galvanické oddělení měřeného a měřícího obvodu, naopak mezi velké nevýhody *MTP* patří nelinearita magnetizační charakteristiky (závislost magnetické indukce  $B$  na intenzitě magnetického pole  $H$ ) feromagnetických materiálů použitých při výrobě magnetického obvodu. [17] Další nevýhodou je jejich větší rozměr. Transformátory proudu dělíme podle několika hledisek:

- podle tvaru primárního vinutí: jednozávitové, závitové, smyčkové, tyčové, násuvné, prstencové, návlečné
- podle magnetického obvodu: jednojádrové, vícejádrové, kaskádové, sčítací, nízkoreaktanční, vysokoreaktanční
- podle konstrukčního provedení: podpěrné, průchodkové, průchozí
- podle způsobu použití: měřicí a jistící [18]



Obr. 9. Snímač proudu s trojfázovým MTP

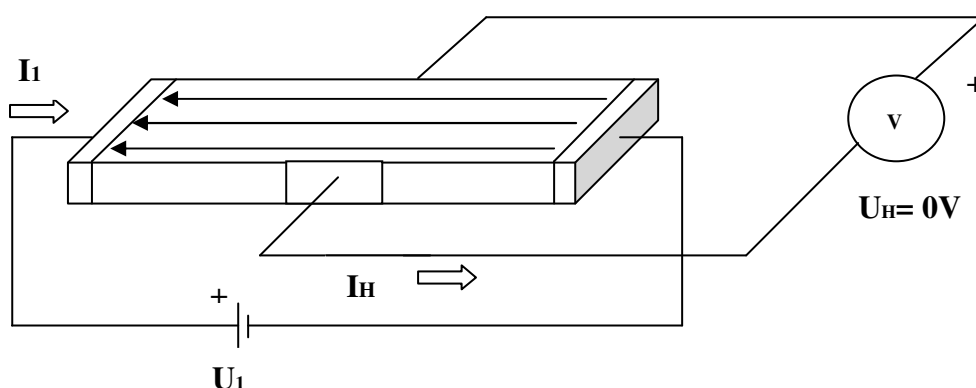


Obr. 10. vlevo návlečný MTP [19] ; vpravo násuvný MTP s rozebíratelným jádrem pro nízké napětí [20]

### 2.1.4 Hallův jev

V roce 1879 americký vědec Edwin Herbert Hall provedl experiment, při kterém nechal tenkým plátkem kovu, umístěným mezi póly magnetu, protékat proud. Zjistil, že ve směru kolmém k protékajícímu proudu bylo indukováno sekundární napětí. Ve své době tento objev ale nenalezl velké praktické využití. [21]

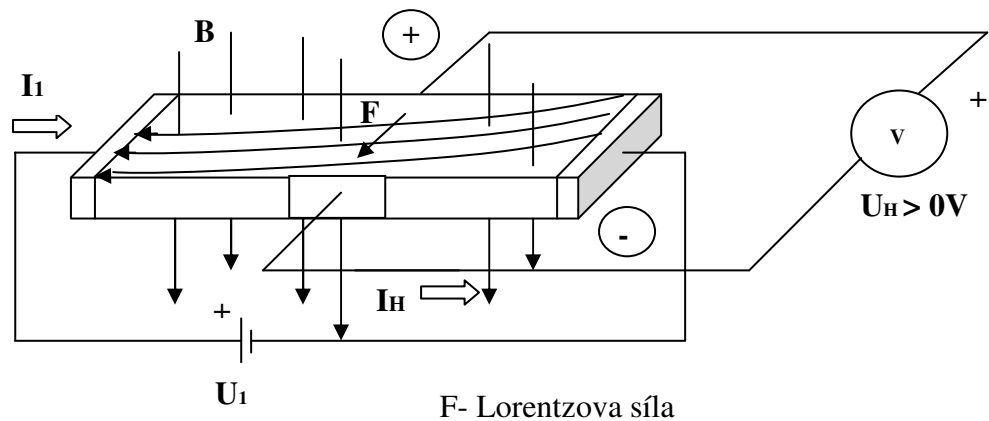
Necháme-li vodičem umístěným v magnetickém poli protékat elektrický proud, vznikne působením magnetického pole příčná síla působící na pohybující se elektrické náboje, která je vytlačuje do stran.



Obr. 11. Proudová vlákna bez přítomnosti magnetického pole

Průchodem elektrického proudu se v tenké polovodičové destičce vytvoří rovnoměrně rozložená proudová vlákna a po přiložení vnějšího magnetického pole bude na tato vlákna působit Lorenzova síla  $F$ .

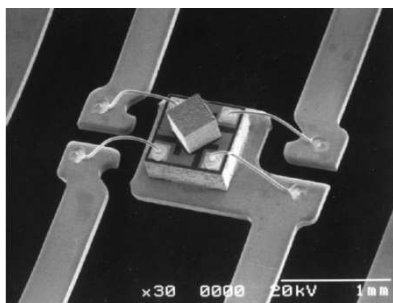
Protože se Hallův jev nejvíce uplatňuje v polovodičích, je většina vyráběných hallových sond vytvořena z tenkého plátku polovodičového materiálu. Moderní hallové sondy se vyrábějí jako integrované obvody, kdy je na povrchu krystalu umístěn plátek opatřený proudovými vývody a odbočkami pro měření Hallova napětí. Plátek pak detekuje magnetický tok působící kolmo k povrchu čipu a jeho signál je pak dále zpracováván v obvodu integrovaném na čipu senzoru.



Obr. 12. vychýlení proudových vláken v magnetickém poli

Snímače s Hallovým prvkem patří také mezi nejrozšířenější typy senzorů polohy. Našly uplatnění v automobilové elektronice jako snímače polohy klikové hřídele, otáček motoru, snímače okamžiku zapalování, snímače polohy oken, sedadel a podobně. Vyznačují se vysokou spolehlivostí, mechanickou odolností, necitlivostí vůči vibracím, širokým rozsahem pracovních teplot ( $-40$  až  $+150^{\circ}C$ ) a díky masové výrobě i nízkou cenou. [23] Naopak největším problémem při použití hallových sond je jejich offset a teplotní závislost. Offset může mít řadu příčin, např. malé chyby geometrie prvku, nerovnoměrnost hustoty dotace, nebo odpor kontaktů. Při použití mikroelektronických metod výroby není napěťový offset větší než  $0,1\%$  napájecího napětí. Teplotní koeficient citlivosti kvalitních hallových sond je asi  $0,1\% /K$ . [24]

V současné době se ke zvýšení citlivosti magnetických senzorů, tedy i hallových sond, využívá technologie tzv. koncentrátoru pole (prvek s vysokou permeabilitou), které se integrují přímo do pouzder senzorů. Přidáním koncentrátoru pole dochází k lokálnímu zesílení magnetického pole, což ve spojení s vhodným magnetickým senzorem vede ke zvýšení jeho citlivosti. [25]

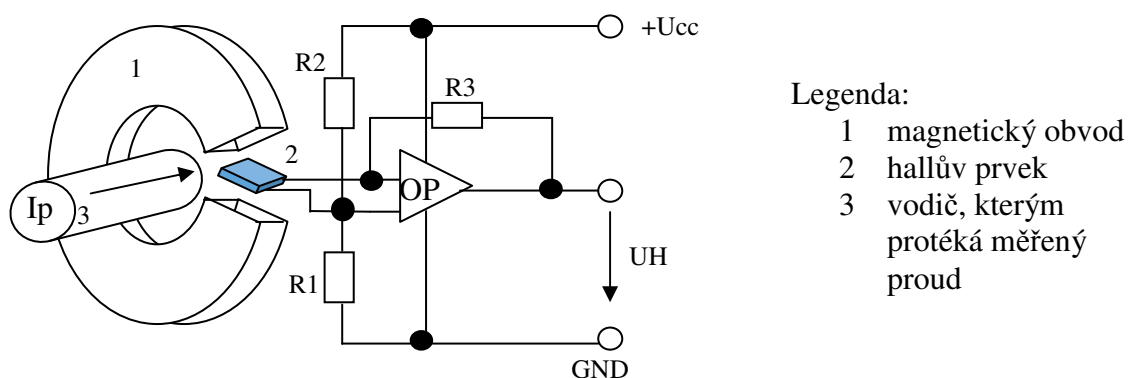


Obr. 13. Hallův senzor s feritovým koncentrátorem pole [26]



### 2.1.5 Snímače proudu s Hallovou sondou

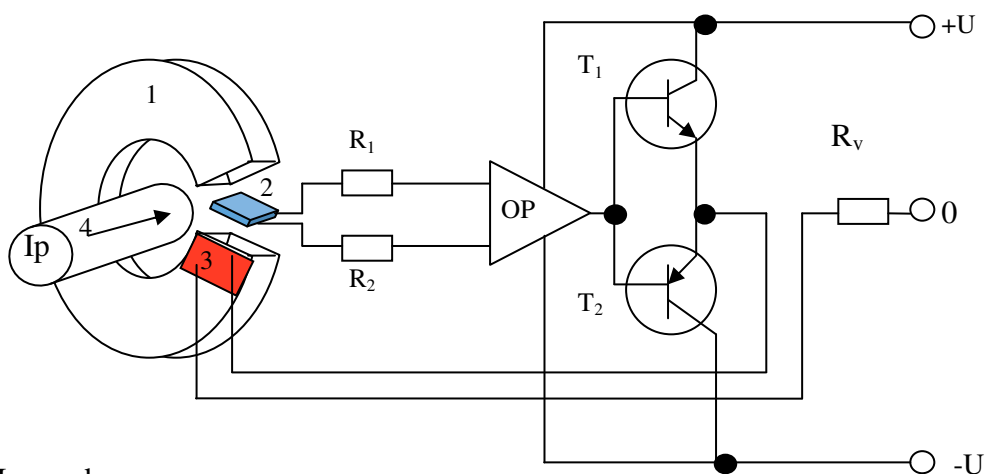
Na obrázku 14. je znázorněno zapojení proudového transformátoru pracujícího na principu Hallova efektu, přesněji snímače s otevřenou smyčkou. Jsou používány v řadě aplikací vyžadující přesnost a rychlou odezvu signálu úměrnou měřenému proudu. [27] Toto zapojení klade důraz na to, aby Hallův prvek poskytoval lineární závislost mezi magnetickým tokem a velikostí Hallova napětí. Výstupní napětí  $U_H$  proudového čidla je úměrné primárnímu proudu  $I_p$ . Transformátory jsou dostupné jak v panelovém provedení, tak i v provedení pro montáž do desky plošných spojů. Výhodami tohoto řešení jsou nízká proudová spotřeba, velmi kompaktní konstrukce bez sekundárního vinutí a vysoká odolnost vůči přetížení. [28]



Obr. 14. Princip otevřené smyčky

Zapojení snímače proudu s uzavřenou smyčkou, tedy s kompenzací magnetického pole znázorňuje obrázek 15. Magnetický tok vytvářený proudem je zcela vyrovnáván opačným magnetickým tokem vinutí kolem magnetického obvodu. Každá odchylka od nulového vyvážení vede ke vzniku Hallova napětí. Tento proud dělený počtem závitů kolem magnetického obvodu představuje skutečný obraz primárního proudu  $I_p$ . Při kmitočtech nad 3-5 kHz působení elektroniky postupně slábne. Na vyšších kmitočtech nebo při rychlých změnách proudu se proud přenáší na principu transformátoru jako v konvenčním proudovém transformátoru. Superpozice těchto dvou účinků činí z tohoto čidla zařízení velmi přesné a dynamické. [29] Výhodou tohoto provedení je

- vysoká přesnost (až 0,5%)
- velká šířka pásma měřitelných frekvencí (od stejnosměrných hodnot až po kmitočty nad 100kHz)
- rychlá odezva (odezva na jednotkový skok vstupního proudu nepřevyšuje 1 $\mu$ s)
- výborná linearita (lepší než 0,1% jmenovitého proudu)
- schopnost měřit jak střídavé tak stejnosměrné hodnoty
- vysoká přetížitelnost
- vysoká odolnost vůči rušení [30]



Legenda:

- 1 magnetický obvod; 2 Hallův prvek; 3 kompenzační vinutí; 4 vodič, kterým protéká měřený proud

*Obr. 15. Čidlo proudu s uzavřenou smyčkou (kompenzací magnetického pole)*

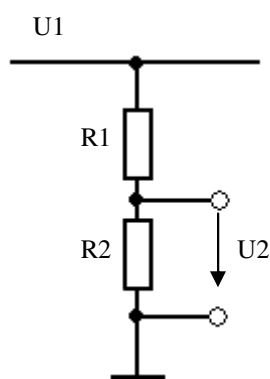


*Obr. 16. Příklady průvlakových měřících transformátorů proudu s otevřenou smyčkou (vlevo- provedení pro rozvaděče, vpravo- provedení pro montáž do DPS) [31]*

## 2.2 Snímače napětí

### 2.2.1 Snímače napětí s odporovým děličem

Mezi přímou metodu měření napětí patří snímání pomocí odporového děliče. Tato metoda nalézá uplatnění zejména v energetice. Měřené napětí je přiváděno na odporový dělič, na jehož odbočce je možno naměřit požadovanou hodnotu.



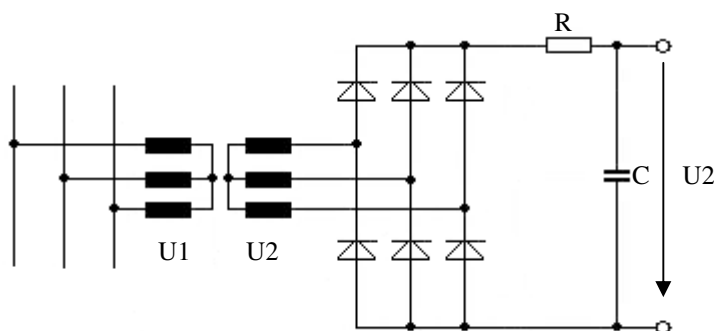
Obr. 17. Princip snímače napětí s odporovým děličem



Obr. 18. Příklad snímače napětí s odporovým děličem [32]

### 2.2.2 Snímače napětí s měřícím transformátorem napětí

Měřící transformátory napětí se vyrábí v provedení pro venkovní i vnitřní aplikace, slouží k jistění a měření rozvodných zařízení vysokého napětí.



Obr. 19. Snímač napětí s měřícím transformátorem napětí



*Obr. 20. Příklady měřících transformátorů napětí pro venkovní aplikace (vlevo) a pro vnitřní aplikace (vpravo) [33]*

### **2.2.3 Kapacitní snímače napětí**

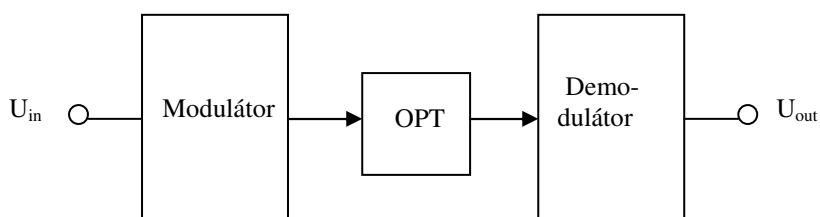
Kapacitní snímače napětí se využívají ve vysokonapěťové technice jako senzory přítomnosti napětí ve vn vedení.



*Obr. 21. Příklad kapacitního snímače napětí [34]*

### 2.2.1 Snímače napětí s modulací a demodulací

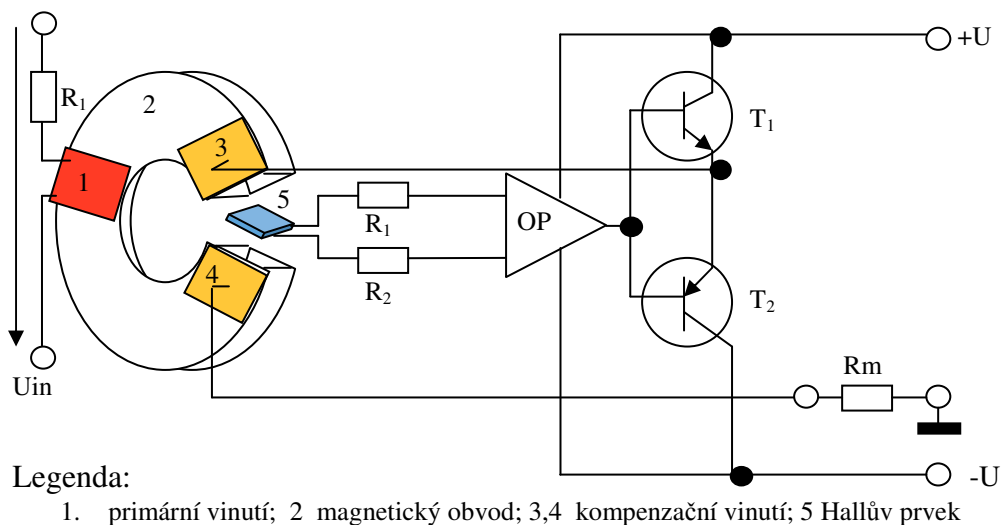
Stejně jako u snímačů proudu s přenosem impulzního signálu lze využít principu modulace a demodulace i u snímačů napětí. Na obrázku 22. je znázorněno blokové schéma snímače napětí, u něhož je vstupní hodnota měřeného napětí modulována, následně přenesena optočlenem a poté demodulována výstupním obvodem. Jako modulátoru lze využít napětím řízeného oscilátoru, u něhož je hodnota frekvence přímo ovlivňována vstupní hodnotou napětí a jako demodulátor pak lze použít obvod fázového závěsu.



Obr. 22. Blokové schéma snímače napětí s modulací a demodulací

### 2.2.1 Snímače napětí s Hallovou sondou

Snímače s Hallovou sondou dovolují měřit jak střídavé, tak stejnosměrné vstupní napětí, proto našly využití také v obvodech sloužících k měření napětí. Princip snímače napětí s Hallovou sondou je znázorněn na obr. 23. Jedná se řešení s kompenzačním vinutím. Měřené napětí je přiváděno přes odporový dělič na vinutí magnetického obvodu.

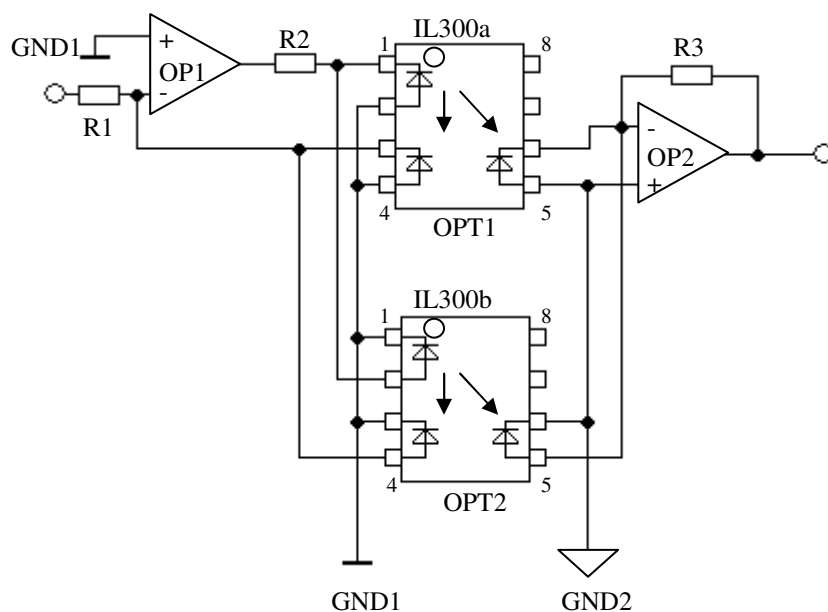


Obr. 23. Schéma snímače napětí s Hallovou sondou

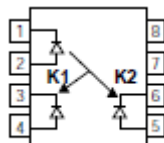
### 3 REALIZACE LABORATORNÍ ÚLOHY SE SNÍMAČI NAPĚTÍ A PROUDU

#### 3.1 Realizace snímače proudu

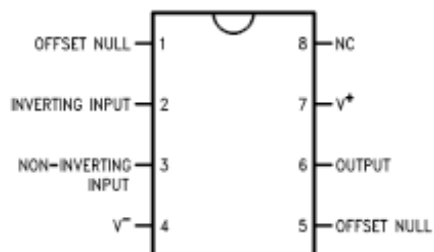
Pro realizaci snímače proudu jsem využil zapojení bipolárního izolačního zesilovače s optočleny IL300. Na obrázku 24. je znázorněno obvodové schéma zapojení. Zesilovač je schopen zesílit signály obou polarit. Svítivé diody, zpětnovazební a výstupní fotodiody jsou v optočlenech zapojeny antiparalelně, tudíž IL300a zajišťuje přenos kladného vstupního signálu, optočlen IL300b je aktivní při přenosu signálu záporné polarity. Mírnou nevýhodou je zkreslení až 5% vznikající při přechodu signálu úrovní vstupní země a malá šířka pásma pracovního kmitočtu, cca 1kHz. [35]



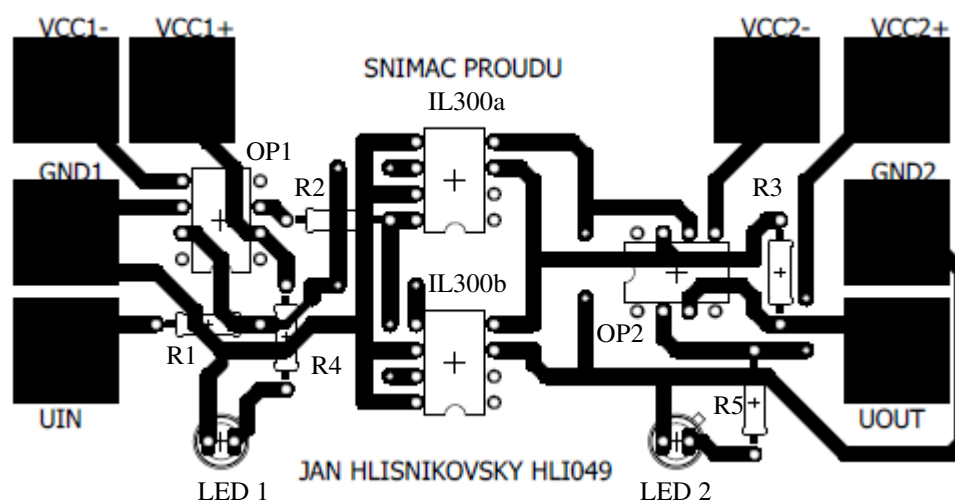
Obr. 24. Schéma zapojení snímače proudu s IL300



Obr. 25. Zapojení pinů IL300 [36]



Obr. 26. Zapojení pinů UA741 [37]



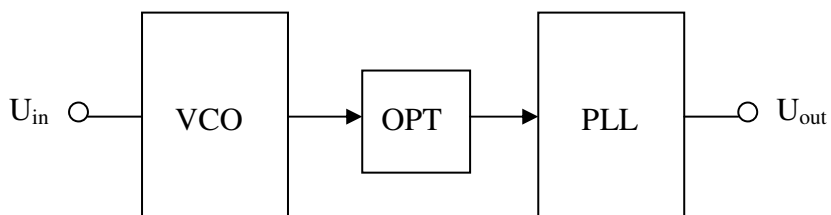
Obr. 27. Schéma rozmístění součástek na desce plošných spojů

#### Seznam použitých součástek:

OP1, OP2	UA741	R1, R3	10k $\Omega$	LED1, LED2	zelená
OPT1, OPT2	IL300	R2	1k $\Omega$		
		R4, R5	690 $\Omega$		

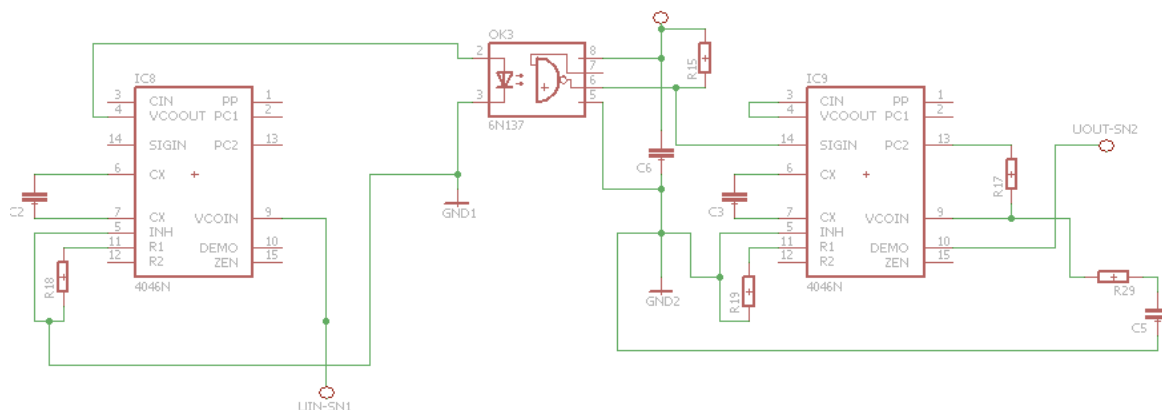
## 3.2 Realizace snímače napětí

Při realizaci snímače napětí bylo vycházeno z již vytvořeného obvodového zapojení, jímž se zabýval kolega Zdeněk Růžička z VUT Brno ve své bakalářské práci v roce 2010. Jeho práce byla doplněna o mírnou úpravu schématu a vytvoření desky plošných spojů.



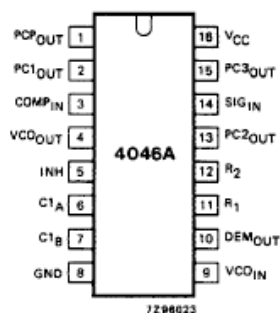
Obr. 28. Blokové schéma snímače napětí

Obvod byl realizován za pomoci obvodu 74HCT4046 ve dvou variantách zapojení. Na vstupu pracuje 4046 jako napětím řízený oscilátor (VCO), kde vstupní napětí  $U_{IN}$  přímo ovlivňuje kmitočet oscilátoru. Takto modulovaný signál je přiváděn na optočlen 6N137 a druhým obvodem 4046 v zapojení fázového závěsu (PLL) demodulován na výstupní hodnotu  $U_{OUT}$ . Vstupní rozsah měřeného napětí je limitován napájecím napětím TTL logiky (5V), jeho hodnotu lze ale rozšířit vhodným vstupním děličem. Zařízení spolehlivě pracuje v rozsahu 0,9- 4,5V. Jelikož optočlen 6N137 obsahuje logické hradlo, je nutné zajistit napájení +5V (pin 8). [38]

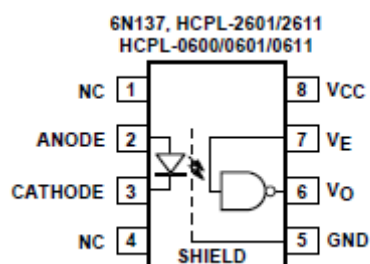


Obr. 29. Schéma zapojení v programu Eagle

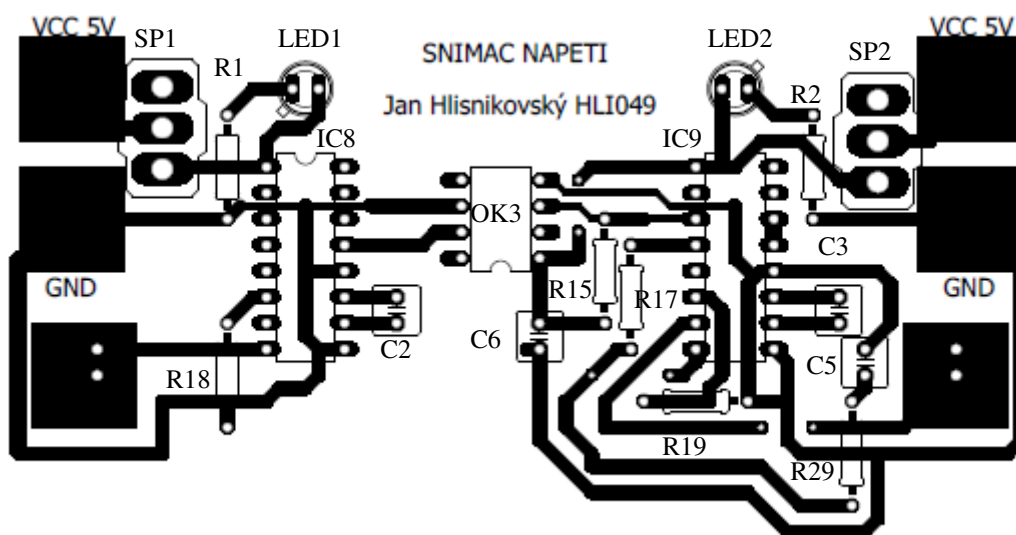




Obr. 30. Zapojení pinů 74HCT4046 [39]



Obr. 31. Zapojení pinů 6N137 [40]



Obr. 32. Schéma rozmístění součástek snímače napětí na desce plošných spojů

#### Seznam použitých součástek:

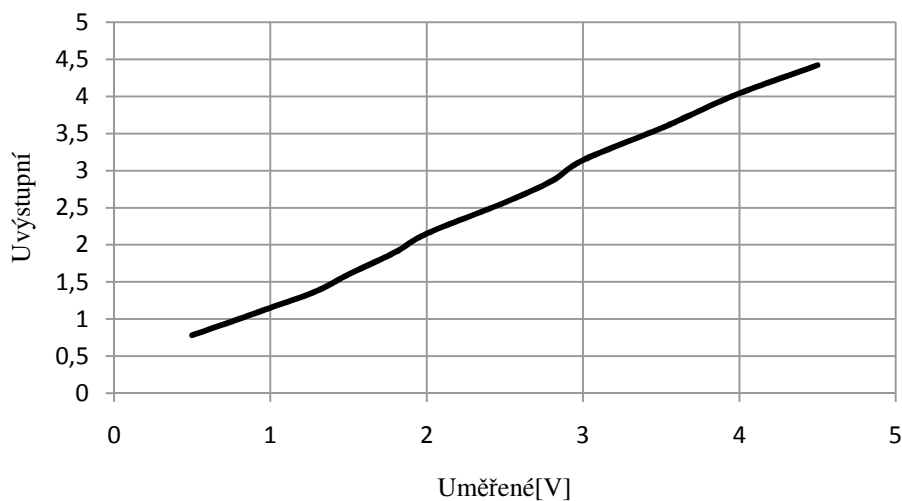
Integrované obvody		Rezistory		Kondenzátory	
IC8, IC9	74HCT4046	R15	820Ω	C2, C3	56pF
OK3	6N137	R17	2,4kΩ	C5	33nF
		R18, R19	180kΩ	C6	100nF
		R29	510Ω		
		R1, R2	190 Ω	LED1, LED2	zelená
				SP1, SP2	spínač

### 3.2.1 Měření na snímači napětí

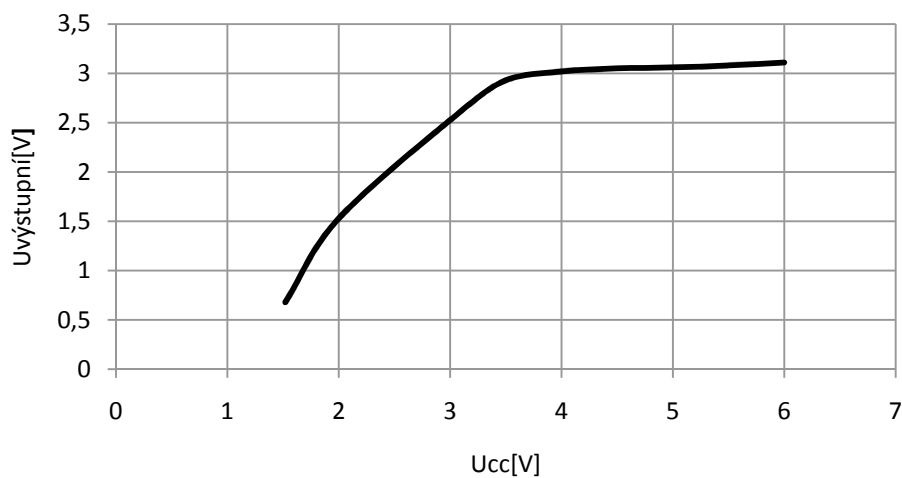
Pro účely měření bylo schéma realizováno na nepájivém plošném poli. Postupně byla odměřena

- a) přechodová charakteristika  $U_{\text{měřené}}/U_{\text{výstupní}}$
- b) závislost výstupního napětí na napájecím napětí při konstantní velikosti měřeného napětí  $U_{\text{CC}}/U_{\text{výstupní}}$  při  $U_{\text{měřené}} = 3\text{V}$
- c) závislost kmitočtu VCO oscilátoru na velikosti vstupního napětí  $f_{\text{VCO}}/U_{\text{měřené}}$

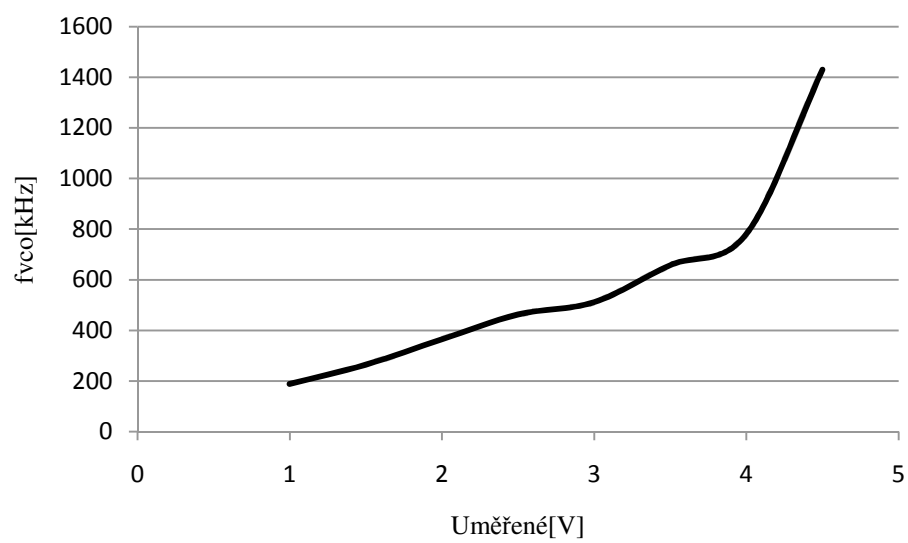
Grafy jednotlivých průběhů



Obr. 33. Graf přechodové charakteristiky



Obr. 34. Graf závislosti výstupního napětí na napájecím napětí  
při konstantním měřeném napětí 3V



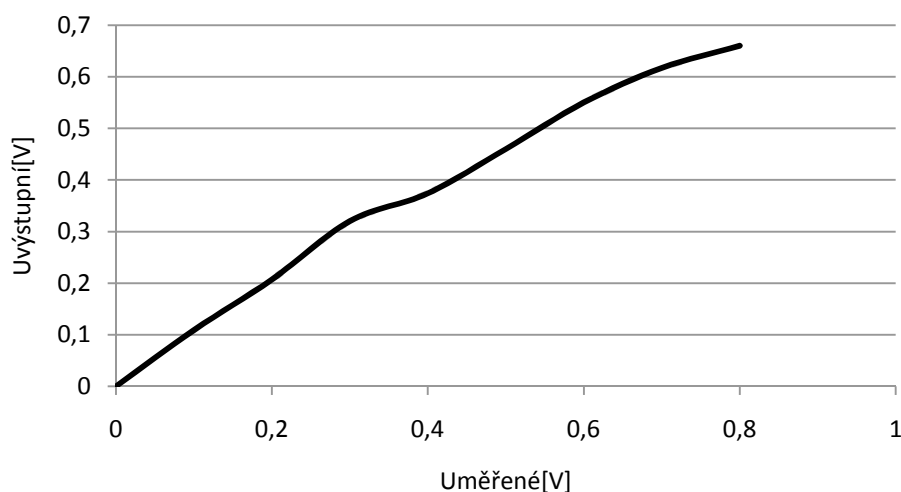
*Obr. 35. Graf závislosti měřeného napětí na frekvenci VCO*

### 3.2.2 Měření na snímači proudu

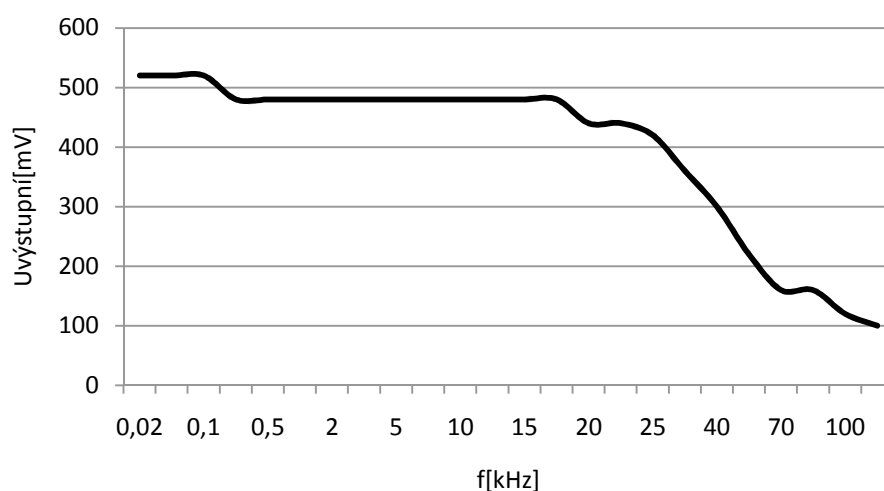
Pro účely měření bylo zapojení opět realizováno na nepájivém kontaktním poli. Při praktickém uplatnění obvodu by se vstupní napětí odečítalo z rezistoru, pro odměření charakteristik bylo dostačující přivádění měřeného napětí na vstup přímo. Postupně byla odměřena:

- a) přechodová charakteristika  $U_{\text{měřené}}/U_{\text{výstupní}}$
- b) závislost výstupního napětí na frekvenci v rozsahu 20Hz až 120kHz

Grafy jednotlivých průběhů:



Obr. 36. Graf přechodové charakteristiky snímače proudu



Obr. 37. Graf závislosti výstupního napětí na frekvenci

## ZÁVĚR

Mým cílem při tvorbě této práce bylo zhodnotit metody a principy funkce průmyslových snímačů používaných v současné době a zároveň navrhnout, odzkoušet a realizovat laboratorní přípravek využívající některý z používaných principů.

U snímače napětí jsem využil principu přenosu signálu modulovaného napětově řízeným oscilátorem a demodulovaným obvodem fázového závěsu. Jako galvanického oddělení obou obvodů bylo využito optočlenu. Navržený obvod pracuje s velkou linearitou v rozsahu od 1V do 4,6V, pod touto hodnotou není zajištěná správná funkce napětím řízeného oscilátoru, nad touto hodnotou se frekvence oscilátoru pohybuje v oblastech nad 1MHz, což vede k zákmitům, pravděpodobně v důsledku neschopnosti optočlenu přenášet takto vysoké kmitočty. Také při přenosu sinusového signálu docházelo k jeho částečné deformaci, proto bylo měření raději prováděno pro stejnosměrné hodnoty napětí.

Při návrhu snímače proudu jsem původně vycházel ze schématu teplotně kompenzovaného snímače proudu uvedeného ve skriptech Technických prostředků pro řízení elektrických pohonů. Po mnoha hodinové bezúspěšné snaze správně nastavit pracovní body a teplotní kompenzaci, jsem od tohoto návrhu upustil a realizoval jsem obvod galvanicky odděleného bipolárního zesilovače s optočleny IL300. Tento obvod pracuje v rozsahu 0-0,6V a v širokém frekvenčním spektru 1Hz-17kHz prakticky bez útlumu signálu na výstupu. Kladná amplituda výstupního signálu byla při měření lehce deformována, docházelo k ořezávání vrchní části sinusového průběhu, pravděpodobně v důsledku rozdílných parametrů obou použitých optočlenů IL300. I přes tento nedostatek považuji toto obvodové řešení za velmi dynamické, přechodová charakteristika má přibližně lineární průběh, jde tedy o zařízení poměrně přesné.

Pokud se měření na těchto obvodech dostane do výukového plánu, studenti budou mít možnost vidět praktickou aplikaci jak obvodu napětím řízeného oscilátoru VCO, tak obvodu fázového závěsu PLL, se kterými se v průběhu svého studia setkají. Také obvod snímače proudu s optočleny IL300 může demonstrovat schopnost přenášet optočlenem signály bez modulace, tedy signály stejnosměrných hodnot.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAYER, Daniel. *Pohled do minulosti elektrotechniky*. České Budějovice: KOPP, 2004, str. 193
- [2] tamtéž, str. 20-22
- [3] tamtéž, str. 31-32
- [4] tamtéž, str. 193
- [5] tamtéž, str. 194
- [6] tamtéž, str. 196
- [7] tamtéž, str. 196
- [8] tamtéž, str. 65-70
- [9] tamtéž, str. 199
- [10] tamtéž, str. 198
- [11] tamtéž, str. 203
- [12] Skriptum Senzory a převodníky ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Pavel Ripka, Stanislav Ďaďo, Marcel Kreidl, Jiří Novák. 2005, str. 6
- [13] BRANDŠTETTER, Pavel. Technické prostředky pro řízení elektrických pohonů, Ostrava, 2004, str. 132. Dostupné z WWW:  
<[http://feil.vsb.cz/kat430/texty/cs\\_cz/cz-down.html](http://feil.vsb.cz/kat430/texty/cs_cz/cz-down.html)>
- [14] Cgi.ebay.it [online]. 2009-2-18 [cit. 2011-04-22]. Dostupné z WWW:  
[http://i15.ebayimg.com/04/i/001/21/f6/ff8d\\_35.JPG](http://i15.ebayimg.com/04/i/001/21/f6/ff8d_35.JPG)
- [15] HUMLHANS, Jan. Zajímavá zapojení 4. Praha: BEN, 2004, str. 41
- [16] BRANDŠTETTER, Pavel. Technické prostředky pro řízení elektrických pohonů, Ostrava, 2004, str. 132. Dostupné z WWW:  
<[http://feil.vsb.cz/kat430/texty/cs\\_cz/cz-down.html](http://feil.vsb.cz/kat430/texty/cs_cz/cz-down.html)>
- [17] PROCHÁZKA, Martin. Přístrojové transformátory proudu, Západočeská Univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická, Plzeň: 2006 str. 2. Dostupné z WWW:  
<[tp://stag.zcu.cz/fel/kee/OZS/Materialy/Pristrojove\\_Transformatory\\_Proudu.pdf](http://stag.zcu.cz/fel/kee/OZS/Materialy/Pristrojove_Transformatory_Proudu.pdf)>

- [18] tamtéž str. 4
- [19] KACÍŘ, Jan. kacir.com [online]. 200? [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <  
<http://www.kacir.com/navlecne/1217-ganz-mc-transformator-proudu-mak-6230-1505a-necejchovany-navlecny.html> >
- [20] Ghvtrading.cz [online] 200? [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <  
<http://www.ghvtrading.cz/produkty/rozvadecove-pristroje/transformatory-proudu/merici-delene/kbu23.html> >
- [21] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky 2. Praha: BEN, 2005, str. 179
- [22] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky 2. Praha: BEN, 2005, str. 180
- [23] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky 2. Praha: BEN, 2005, str. 183
- [24] soubor byl v době tvorby odkazů na literaturu nedostupný  
<[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_08\\_1006.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1006.pdf)>
- [25] soubor byl v době tvorby odkazů na literaturu nedostupný  
<[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_08\\_1006.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1006.pdf) >
- [26] tamtéž, str. 8
- [27] semic.cz [online]. 2007 [cit. 2011-04-15] Dostupné z WWW: <  
[http://www.semic.cz/pasiva/B06\\_22.pdf](http://www.semic.cz/pasiva/B06_22.pdf)>
- [28] honeywell.sk [online]. 2005 [cit.2011-04-15] Dostupné z WWW: <  
<http://www.honeywell.sk/?com=pages&id=539> >
- [29] tamtéž
- [30] BRANDŠTETTER, Pavel. Technické prostředky pro řízení elektrických pohonů, Ostrava, 2004, str. 133. Dostupné z WWW:  
<[http://fei1.vsb.cz/kat430/texty/cs\\_cz/cz-down.html](http://fei1.vsb.cz/kat430/texty/cs_cz/cz-down.html)>
- [31] semic.cz [online]. 2007 [cit. 2011-04-15] Dostupné z WWW: <  
[http://www.semic.cz/pasiva/B06\\_22.pdf](http://www.semic.cz/pasiva/B06_22.pdf)>
- [32] egubrno.cz [online]. 2009 [cit. 2011-04-18] Dostupné z WWW:  
<[http://www.egu.cz/Egu\\_cb/pdf/FSU-36\\_cz.pdf](http://www.egu.cz/Egu_cb/pdf/FSU-36_cz.pdf)>
- [33] KPB Intra s.r.o.; Code a CSS: Jiří Bašta, [JB@design.cz](http://www.jb@design.cz) [online]. 2011 [cit. 2011-04-22] Dostupné z WWW: < <http://www.kpbintra.cz/cz/produkty/VTD25.html>>
- [34] KPB Intra s.r.o.; Code a CSS: Jiří Bašta, [JB@design.cz](http://www.jb@design.cz) [online]. 2011 [cit. 2011-04-22] Dostupné z WWW: < <http://www.kpbintra.cz/cz/produkty/VSO25.html>>
- [35] HUMLHANS, Jan. Zajímavá zapojení 4. Praha: BEN, 2004, str. 45

- [36] datasheetcatalog.com [online]. 2011 [cit. 2011-05-03] Dostupné z WWW:  
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/siemens/IL300.pdf>>
- [37] Gme.cz [online]. 2011 [cit. 2011-05-01] Dostupné z WWW:  
<[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/310/310-017/dsh.310-017.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/310/310-017/dsh.310-017.1.pdf)>
- [38] RŮŽIČKA, Z. Galvanicky oddělené čidlo napětí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010
- [39] Gme.cz [online]. 2011 [cit. 2011-04-25] Dostupné z WWW:  
<[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/426/426-067/dsh.426-067.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/426/426-067/dsh.426-067.1.pdf)>
- [40] Gme.cz [online]. 2011 [cit. 2011-04-25] Dostupné z WWW:  
<[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/523/523-009/dsh.523-009.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/523/523-009/dsh.523-009.1.pdf)>



## SEZNAM PŘÍLOH

- 1) Protokol k měření prázdný
- 2) Protokol měření vzorový
- 3) Dokumentace k deskám plošných spojů
- 4) Fotografie finálního výrobku
- 5) Grafy průběhů z osciloskopu